



Urban Challenge 2007 – Lessons learned – Team CarOLO

Thomas Form
Jan Effertz
Jörn-Marten Wille
Sebastian Ohl

Braunschweig : Institut für Flugführung, 2011

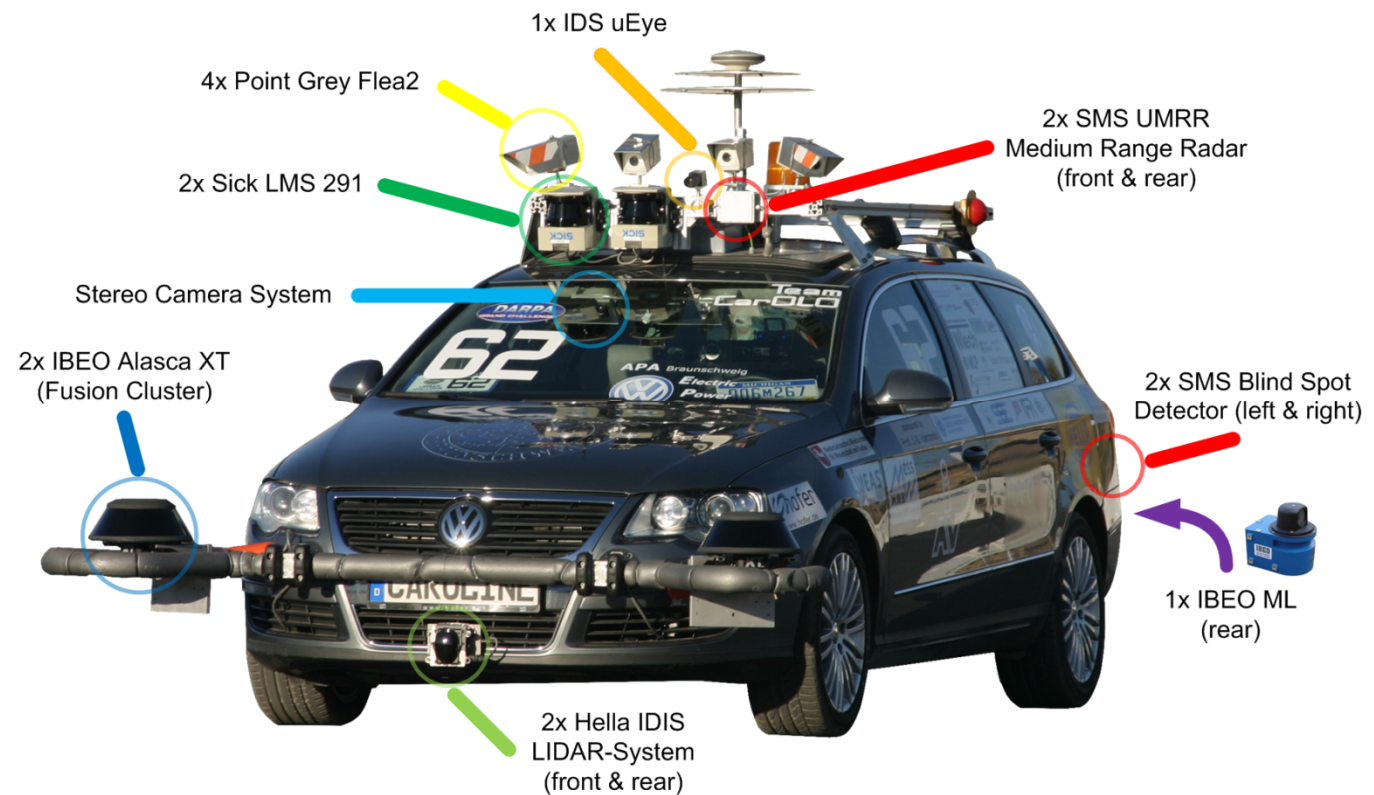
Veröffentlicht: 08.03.2011

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00038422>

Urban Challenge 2007

Lessons learned – Team CarOLO

Thomas Form
Jan Effertz
Jörn Marten Wille
Sebastian Ohl



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Rückblick AAET 2007

Caroline – ein autonom fahrendes Fahrzeug im Stadtverkehr

Zusammenfassung und bisherige Erfahrungen

- robuste Rechnerhardware erforderlich mit hohen Anforderungen an Stabilität und Verfügbarkeit des Betriebssystems
- einheitliche Schnittstellen und eine saubere Architektur für alle Module erlauben einfache Wartbarkeit und Austauschbarkeit
- Projektarbeit mit großem interdisziplinärem Team verbunden mit einem engem zeitlichem Rahmen in einem universitären Umfeld stellt hohe Anforderungen an Teammitglieder, -prozesse und Werkzeuge

08.02.2008

Résumé im Februar '07 zur AAET 2007



„Caroline 05 – AAET 2007.ppt

Folie 2



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Inhalt

1. Teamorganisation
2. Motivation
3. Finanzierung
4. Architektur
5. Test
6. Simulation
7. Wettbewerb

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 3



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



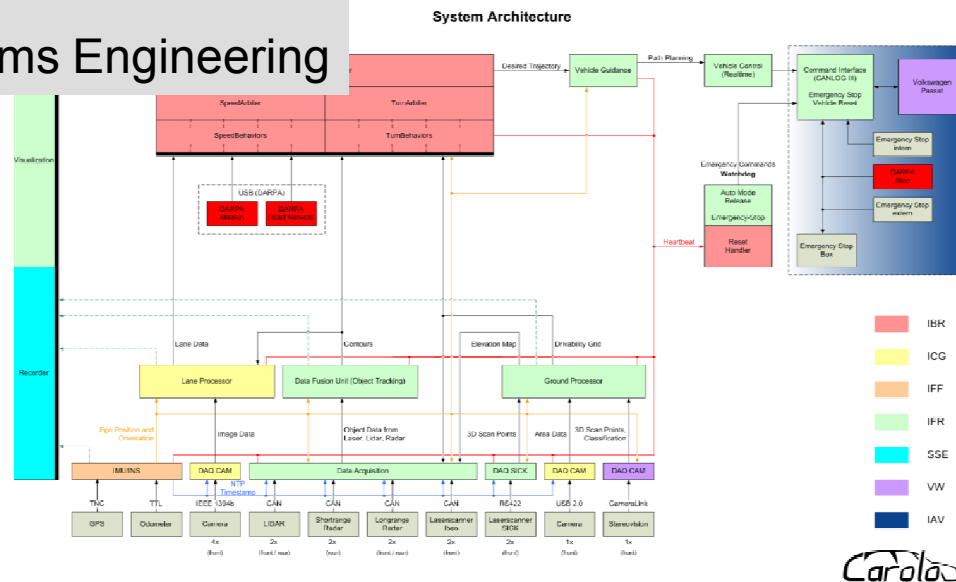
UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Teamorganisation (1/5)

Institut für
Software Systems Engineering

Institut für
Computergrafik

Institut für
Flugführung



Institut für
Regelungstechnik

IAV GmbH

aktive Teammitglieder:

1 Anwalt (offiz. Teamleader und US-Bürger)

6 Professoren

11 Wiss. Mitarbeiter (Ingenieure bzw. Informatiker)

ca. 20 Studenten aus Informatik, Elektrotechnik und Maschinenbau

Institut für
Betriebssysteme u. Rechnerverbund



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Teamorganisation (2/5)

- **geringe Erfahrung im Handling komplexer, zeitkritischer und rückgekoppelter Systeme**
- **Heterogener Teamaufbau verantwortlich für viele Konflikte in der Frühphase**
 - divergierende Vorgehensweisen Ingenieure/Informatiker
 - Denken in Blockschaltbildern
 - Abschätzen, was ist realistisch
 - „Schöne Lösungen“
 - Pragmatismus
 - Anforderungsanalyse
 - nur Sensorik erfolgt
 - Für weitere Bereiche nicht durchgeführt - schränkt Freiheit der SW-Entwicklung zu sehr ein
 - im Nachgang waren die heterogeneren Subteams die erfolgreicher

07.03.2011

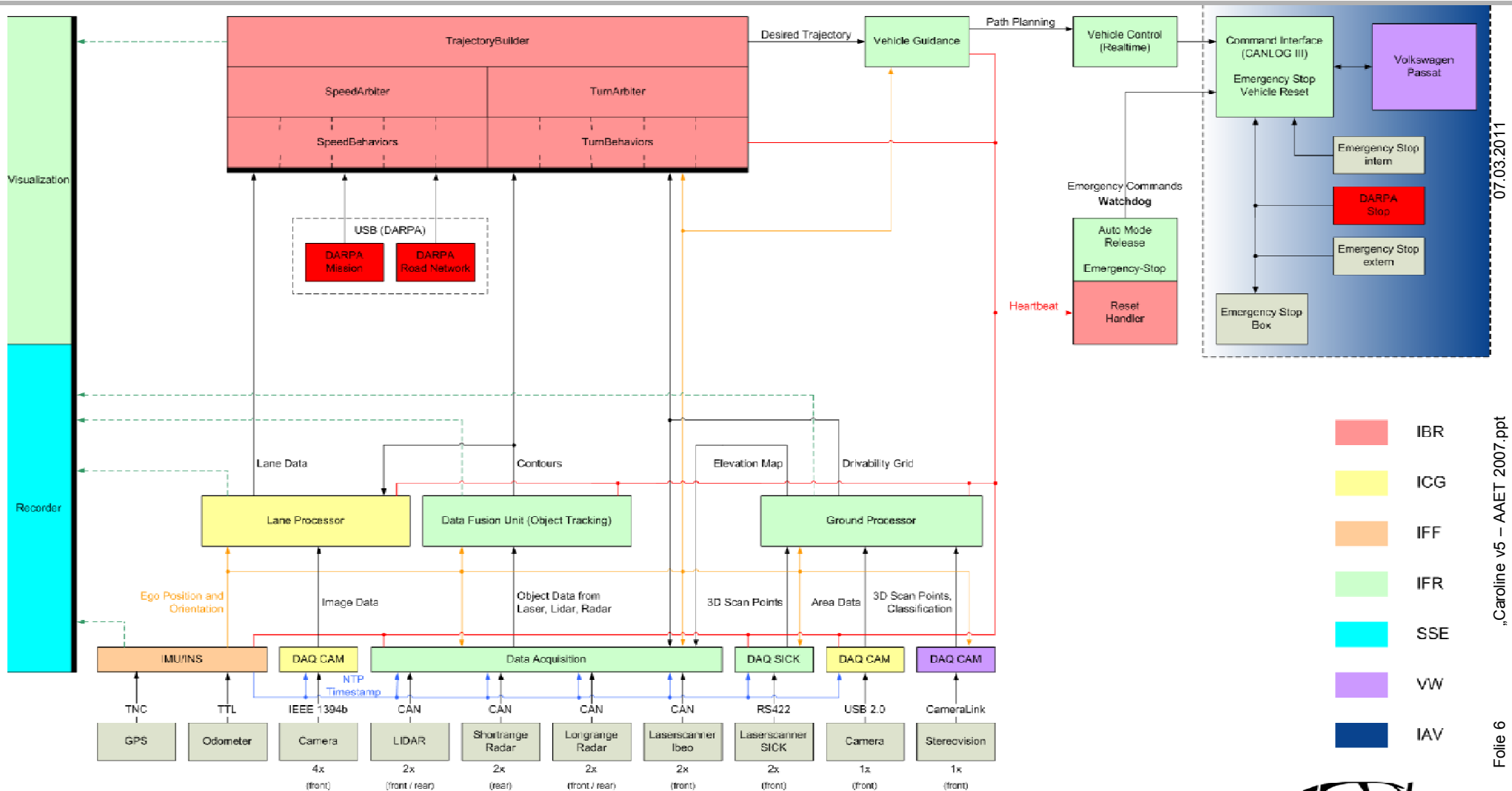
„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 5



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Teamorganisation (3/5)



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Teamorganisation (4/5)

- **dezentrale versus zentrale Führung**
 - Steuerkreis, primär zur Eskalation und Projektfinanzierung
 - WiMi-Kreis und Fachteams (z.B. KI) für das primäre Projektgeschäft
 - Separater Studentenkreis in der Anfangsphase, mit Projektfortschritt immer mehr verschwimmende Unterschiede Stud/WiMi
 - Weitgehend sich selbst organisierende Teams auf Mitarbeiter/Studentenebene
 - Weitreichende Delegation der Verantwortung

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 7



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Teamorganisation (5/5)

• gemeinsamer Datenserver

- WIKI für allgemeine Teaminformationen
- Trac-System zum Verfolgen von Aufgaben
- SVN zur Datenhaltung und Versionierung

• regelmäßige Informationen über Meilensteine und erreichtes

- Anfangsphase nur Berichtsmonitoring
- im weiteren Projektverlauf konkretere Meilensteine
 - In einzelnen Fällen schleppender Fortschritt einzelner Subteams nur verzögert erkannt
- StoryCharts zur einfachen Zielvermittlung und Monitoring
 - verbale Zieldefinition oft lückenhaft
 - Ziele in Bildern und Aufgaben eindeutiger



Beschreibung:
Meilenstein 13

Termin 13. März 2007

Titel Kameragestützte Fahrt auf Rundkurs, sensorgestütztes Ausweichen und E-Stop
Ort Campus Süd

Beschreibung Voraussetzung ist das Bestehen des vorigen Szenarios!
• Caroline fährt autonom mit einer Geschwindigkeit von 8 – 15 km/h kameragestützt in der äußeren Fahrspur den kompletten Rundkurs, ohne die Fahrspur zu verlassen.
• Caroline fährt autonom mit einer Geschwindigkeit von 08 – 15 km/h ohne Fahrspurkennung nach RNDP auf ein Hindernis zu und weicht diesem aus.
• E-Stop funktioniert gemäß Anforderungen

CarOLO – Übersicht StoryCards (MS13-SC01, MS13-SC02 und MS13-SC03)



Modul	#	MS	Beschreibung	Verantwortlich	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Aktorik	AK-1	8	Regler muss stabil sein. Bereich fahren können.	Wille	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3
	AK-2	8	Regler muss Kurven stabil abfahren können.	Wille										
	AK-3	8	Tragstrukturplanung funktionsfähig	Wille										
	AK-4	8	Falls keine Tragkonzepte vorhanden ist: P-Nachrüstung	Wille										
API	AP-1	8	Wenn Funktionen in den Applikationen werden durch Sensoren abgefragt. Die Messungen müssen getriggert werden und Abweichungen errechnet werden.	meuseroth										
	CarOLO/DIVA	CV-1	Darstellung Ego-Objekt	ipoli										
Digitalisier	CV-2	8	Darstellung RNDP-Objekt	ipoli										
	CV-3	8	Darstellung Landfahrzeug-Objekt	ipoli										
	CV-4	8	Darstellung Tragkonzepte	ipoli										
	DM-1	8	Erfahren, dass ein USB Stick eingesetzt werden ist und Abfragen sowie Verarbeiten der Daten darauf	notdurft										
E-Stop	DM-2	8	Eintragen der Hindernisse in WKA	notdurft										
	DM-3	13	Konzeption der Map: Interpretation der Befehlssätze und Weitergabe von Fahrzeugbewegungen (in Form von Votes) an die K2	notdurft										
Infrastruktur	E-Stop	8-1	Durchführung und Erhaltung E-Stop des: Video-Aufnahmen mit RNDP am RNDP	corneen										
		8-2	Wechsel E-Stop	corneen										
IMU	I-1	8	Erstellen einer Liste, welcher Service auf welcher IP, Rechner (Seriennummer und Bezeichnung) läuft	doering										
	I-2	8	Erstellen einer effizienten Backup- und Restore-Lösung	doering										
	I-3	9	Erstellung Headquarters am Campus Süd (Tische, Stühle, WLAN, Steckdosen, etc.)	doering										
KI	IMU-1	8	Ankörung Datenreiter	notdurft										
	IMU-2	8	GPS. Der erste über WiFi an allen Rechnern angeschlossen zur Verfügung	notdurft										
K2	KI-1	8	RNDP Campus Nord erstellen, vorher keine Verzögerung zwischen den Fahrzeugmarkierungen liegen	hommer										
	KI-2	8	RNDP für RNDP erstellen, um eine Runde im Norden zu beginnen, anschließend gegen den Uhrzeigersinn um die Halle herumzuführen.	hommer										
Q	KI-3	8	Landfahrzeug erstellen, um auf Landfahrzeug-Objekt Daten gesteuert Tragkonzepte herauszugeben.	hommer										
	KI-4	8	HighSpeedSensor erstellen, um nicht unter die Mindestgeschwindigkeit zu fallen.	hommer										
Simulator	KI-5	8	Nachladen des Kartes mit Caroline regular Anhalten.	hommer										
	KI-6	8	Follower-Objektverhalten erstellen	hommer										
S-Stop	KI-7	13	Ausfallverhalten erstellen zum Ausweichen statischer Hindernisse.	hommer										
	Q-1	8	Durchführung Fahrzeugtest am 08.03.07	grosse										
S-Stop	Q-2	13	Durchführung Fahrzeugtest am 13.03.07	grosse										
	S-1	8	Die Broadcaster senden aktuell sequenziell, müssen aber parallel senden.	basarke										
Vision	S-3	6	TimeOfDay-Validator	basarke										
	S-4	6	ArrivalValidator	basarke										
V-Stop	S-5	6	StayInLanesValidator	basarke										
	S-6	6	ChangeLanesValidator	basarke										
V-Stop	S-7	6	FollowThroughValidator	basarke										
	S-8	6	PreCheckPointValidator	basarke										
V-Stop	S-9	6	SpeedValidator	basarke										
	S-10	13	CorrectLanesValidator (rechts halten)	basarke										
V-Stop	S-11	13	MinimumDistanceValidator	basarke										
	VI-1	8	Kalibrierung der zu verwendenden Kamera.	ipoli										
V-Stop	VI-2	8	Individuelle des CarPiC im Fahrzeug	ipoli										
	VI-3	8	Reparatur der Landfahrzeug-Objekt an die Kamera und dritter Gegenstand (Hauptfahrplan)	ipoli										
V-Stop	VI-4	8	Beibehaltung des Landfahrzeug-Objekt mit den Daten des Algorithmus der Fahrzeugerkennung	ipoli										
	VI-5	8	Kontinuierlicher Versand von Landfahrzeug-Objekt an die K2 und CarOLO/DIVA	ipoli										

0 = Nicht anfangen, 1 = Konzipiert, 2 = Implementiert, 3 = Getestet im Testbett, 4 = Im Fahrzeug in Betrieb genommen, 5 = 100% erfolgreich im Fahrzeug getestet



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Motivation (1/2)

- Wettbewerbe meist Selbstläufer
 - Zäher Wechsel von Anfangsphase (PowerPoint Ebene) zum eigentlichen Doing
 - Positiver Motivationskick durch zusammenfassen der Mitarbeiter am Fahrzeug
- Wettbewerb verzeiht nichts, keine Entschuldigung, dass etwas technisch nicht geht
- Herausforderung - Einbindung der nicht an "Kernaufgaben" arbeitenden Teammitglieder
 - Arbeiten an der Leistungsgrenze
 - Ungleiche Arbeitsverteilung bedingt durch Aufgaben - wenig Probleme dadurch

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 9



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Motivation (2/2)



Fairness vor und während des Wettbewerbs

Kameradschaftliches und professionelles Verhalten

Man half aus und es wurde einem geholfen



Bei solchen Szenen
klatschten nur wenige !



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Finanzierung

- Anschubfinanzierung war früh gesichert
- weitere Finanzierung kam mit Projektfortschritt
 - positiv, das Team konnte etwas vorzeigen
 - Brinkmanship – als gewisses Druckmittel „ohne weitere Unterstützung müssen wir aufgeben“
- einfaches gut strukturiertes Berichtswesen zum Aufwandsmonitoring der Teilprojekte (Ist und Planung) war angedacht, in der Praxis nur eingeschränkt nur auf direkte Nachfrage gelebt

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 11



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Architektur - Software

Selbstgeschriebenes API-Framework als Fundament der Echtzeitfähigen Architektur (not invented here ?)

- Herausforderung: Echtzeitfähigkeit und Spezialanwendungen (z.B. CAN)
- Modulare Struktur half bei späteren Konzeptänderungen
- Intensive Betreuung bei der Anwendung durch nicht erfahrene Nutzer (Coaching)

Software

- Einigung auf einheitliche Softwaresprache C++
- Wenige Ausnahmen: C für zeitkritische Anwendungen
Mathlab/Simulink für Algorithmenentwicklung

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 12



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

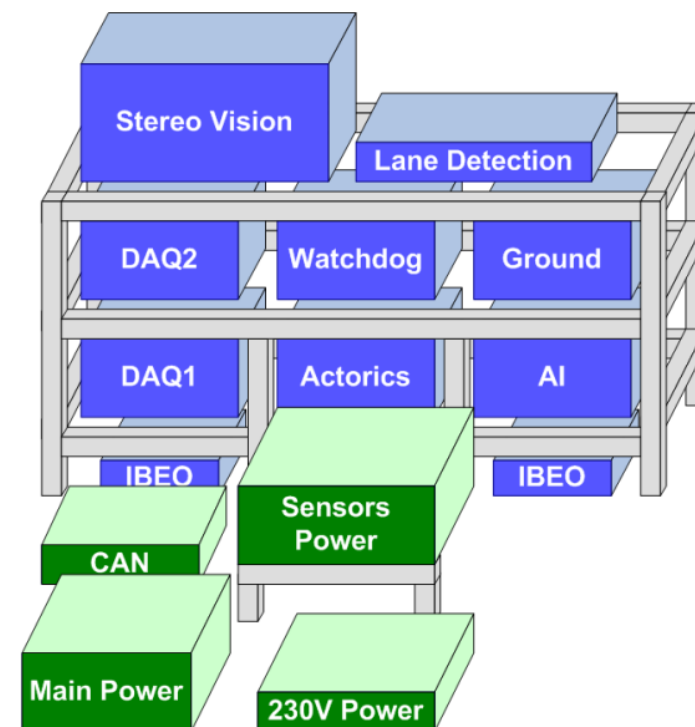
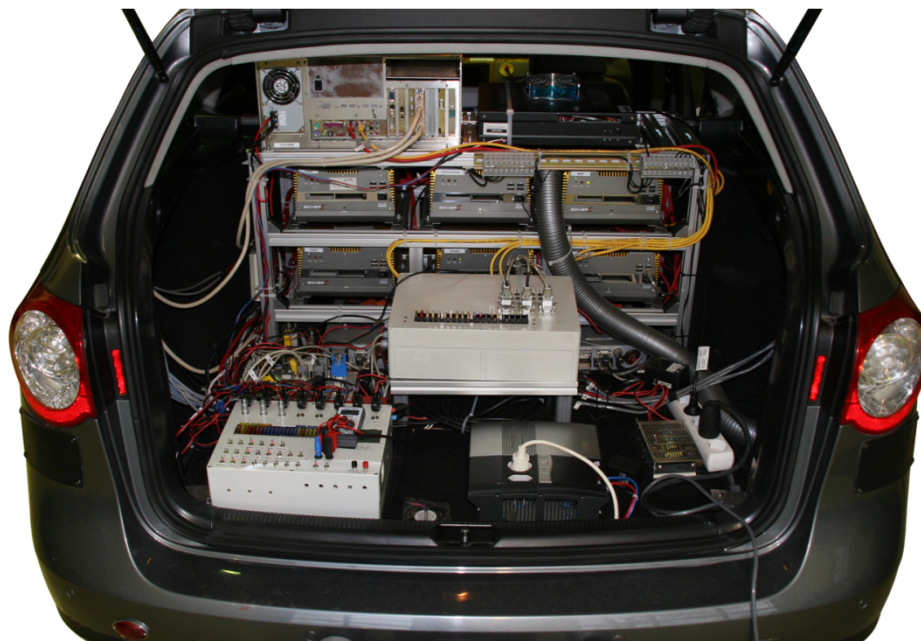
Architektur - Hardware

Einheitliches Rechnerkonzept erlaubte:

- Reduzierung des PC-Pflegeaufwands
- Einfachere Ersatzteilbevorratung

Industrie-PC nicht notwendiger Weise automobiltauglich

Herausforderung Dokumentation



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Architektur – Hardware Beispiele für Min und Max



07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 14



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Architektur – Fahrzeug

- Stromversorgung im Fahrzeug nicht zu unterschätzen:
 - Man kann nie genug Strom haben (Batteriezustand)
 - Stromsensor zum kontinuierlichen Monitoring
 - Lademöglichkeiten
- robuste Hardware:
 - Temperaturverhalten (am ausgeschalteten PC 45°C gemessen)
- Kamera im Fahrzeug zur Aufzeichnung des grundsätzlichen Fahrzeugverhaltens
- Dokumentation
 - aktueller HW-Stand im Fahrzeug
 - Aktuelle SW-Stände im Fahrzeug
 - durchgeführte Änderungen
 - Bedienungsanleitung !
 - Checklisten für die heiße Wettkampfphase

Leider Immer aktuell



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Architektur – Fahrzeug

Beispiel für Lücke im
Anforderungsmanagement

Hindernis ohne
Bodenberührung



07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 16



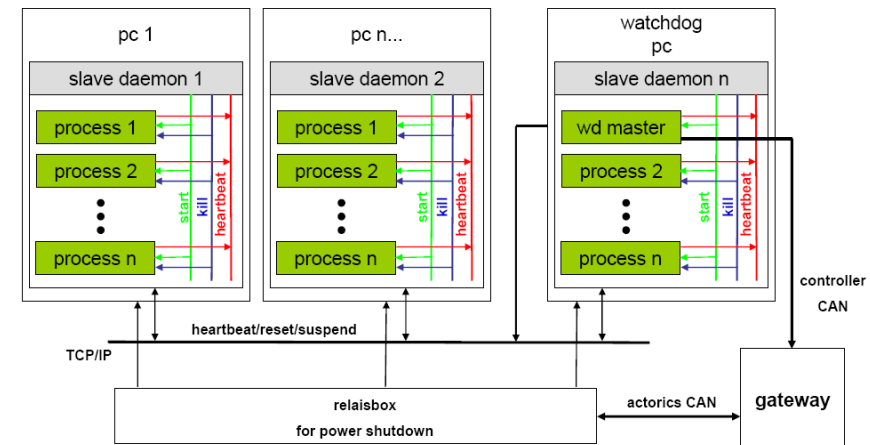
CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Architektur

- Einfaches Bedien- und Inbetriebnahmekonzept hilft spart Ressourcen (ausgefallene Tests, als Fehler interpretierte Funktionen usw.)
- modulares skalierbares Systemkonzept erleichtert in späten Projektphasen Konzeptänderungen
- Herausforderung Echtzeitverhalten
- rückwirkungsfreie Loggingmöglichkeiten
- Frühwarnsystem für Systemperformance (z.B. Aktualisierungsraten als Frühwarnindikator)
- Rückfallebenen, Watchdog und Neustart von Prozessen im laufenden Betrieb für erhöhte Verfügbarkeit (Beispiel Finale, wo während der Mission mehrfach Prozesse neu gestartet wurden)



07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 17



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Testprozess

- absichern und abnehmen des Projektfortschritts (Meilensteine)
 - Dilemma bei knapper Zeit "Entwicklung versus Testen"
 - Testen auf mehreren Prüfgeländen (Entdecken der 3. Dimension)
 - unabhängiges Testteam, Beispiel SWRI-Tests für Teams
 - Zweiter Sensorträger
 - SW-Freeze vor Wettbewerb Illusion, besser vorher Prozess aufsetzen
 - komfortable Visualisierung (Beispiel Stanford mit Großbildschirm)
 - RNDF-Maker um schnell neue Testszenarien zu kreieren
-
- Diskrepanz zwischen geregelter Fahrt und reinen Sensorfahrten
 - Automatische Tests gut geeignet zum Finden algorithmischer Fehler
dagegen
Inhaltliche Fehler bzw. wettbewerbstypische Testcases (Beispiel "längeres stehen in Pause,,) schwer automatisch abdeckbar

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

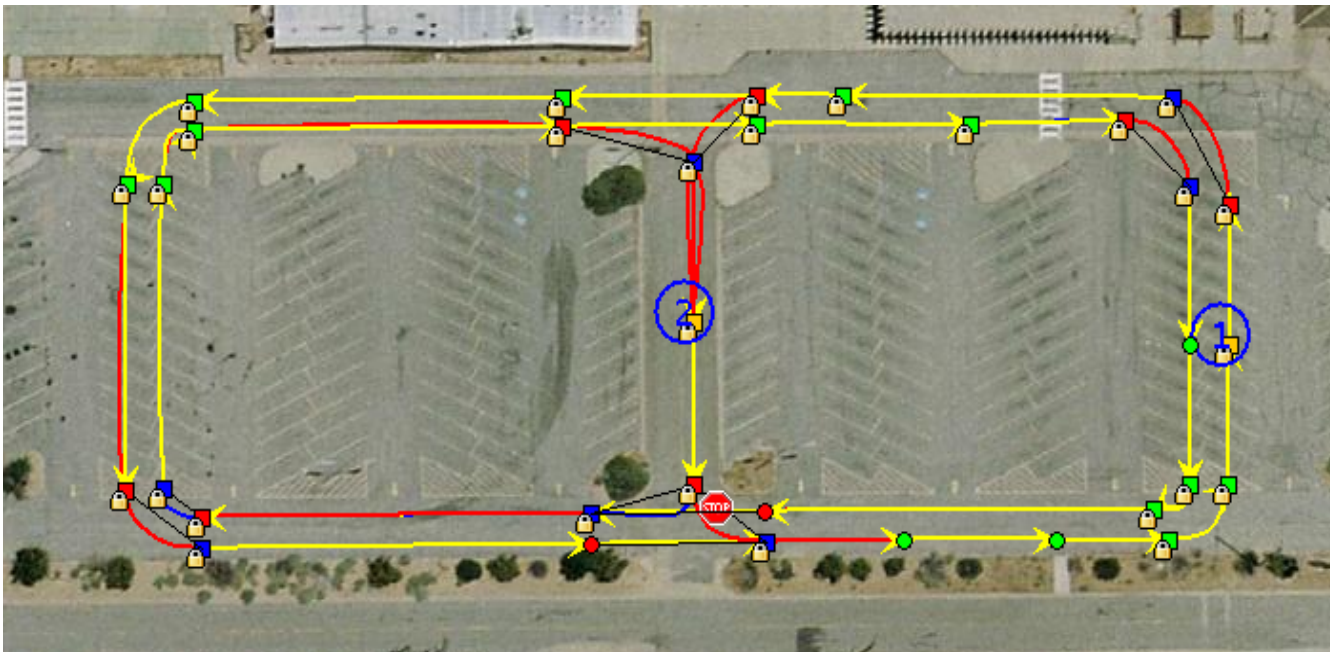
Folie 18



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Simulation

- modulares Konzept zum Einbinden der realen Fahrsoftware zwingend notwendig
- Gute Visualisierung zum schnellen Finden von Fehlern enorm wichtig
- Entkoppeltes Simulationsteam zum Test und zur Fehlerreproduktion



- im Nachhinein Aufwand unterschätzt und zu sehr vernachlässigt



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Wettbewerb (1/3)

- Entlastung des Fahrzeugteams von "banalen" Aufgaben
 - nicht unbeträchtlicher Aufwand für Infrastruktur
 - Fahrzeuge
 - Unterbringung
 - Vernetzung

Bürocontainer mit zwei räumlich getrennten Arbeitsbereichen, z.B. für Simulations- und Fahrzeugteam

Schutz vor Kälte und Sonne (Wüste)

Fahrzeug gesichert im Container



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Wettbewerb (2/3)

- Positives Image des Teams durch kontinuierlich gepflegten Kontakt zur DARPA (Teamleiter B. Rauskolb)
- klare Aufgabenzuordnung im Vorfeld des Wettbewerbs
- erkunden und Bereitstellen von Testmöglichkeiten während des Wettbewerbs (Baseball Parkplatz)
- Diskrepanz zwischen erwarteten Anforderungen und Wettbewerb
 - Primärer GPS-Kurs
 - Spurmarkierungserkennung nicht zwingend notwendig
 - Spurwechsel im fließenden Verkehr nicht geprüft
 - Bis auf „Schranke“ eindeutige große Hindernisse
- Problem: manche Fahrzeuge (Teilnehmer u. DARPA) waren offensichtlich schwer mit Lasersensoren zu erkennen

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 21



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Wettbewerb (3/3) - Das bittere Ende nach 16,5 km bzw. 2,5 Stunden



07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 22



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



UC 2007 – Lessons learned Team CarOLO

Zusammenfassung

Was bleibt ist der Erfolg 16,5 km im Finale der besten 11 von ursprünglich 108 angetretenen Teams mitgefahren zu sein

- robuste Rechnerhardware erforderlich mit hohen Anforderungen an Stabilität und Verfügbarkeit des Betriebssystems
- einheitliche Schnittstellen und eine saubere Architektur für alle Module erlauben sichere Bedienung, einfache Wartbarkeit und Austauschbarkeit
- Projektarbeit mit großem interdisziplinärem Team verbunden mit einem engem zeitlichem Rahmen in einem universitären Umfeld stellt hohe Anforderungen an Teammitglieder, -prozesse und Werkzeuge

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 23



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



Backup

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 24



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



Caroline – ein autonom fahrendes Fahrzeug im Stadtverkehr

Zusammenfassung und bisherige Erfahrungen

- robuste Rechnerhardware erforderlich mit hohen Anforderungen an Stabilität und Verfügbarkeit des Betriebssystems
- einheitliche Schnittstellen und eine saubere Architektur für alle Module erlauben einfache Wartbarkeit und Austauschbarkeit
- Projektarbeit mit großem interdisziplinärem Team verbunden mit einem engem zeitlichem Rahmen in einem universitären Umfeld stellt hohe Anforderungen an Teammitglieder, -prozesse und Werkzeuge



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



Urban Challenge 2007

Anforderungen – sicheres autonomes Fahren im Verkehr mit 20mph

- Autonomes durchfahren komplexer Missionen mit max. 5min Vorbereitungszeit
- Selbsttätiges Navigieren in Gebieten ohne vorgegebene Wegpunkte
- Dynamische Anpassung der Route bei unvorhergesehenen Hindernissen mit ausführen von 180° Kehren bei blockierten Strassen
- Erkennen von gelben und weißen Fahrbahnmarkierungen
- Situationsabhängige Geschwindigkeitswahl und einhalten von vorgegebenen Geschwindigkeitsbeschränkungen mit max. 30mph
- Richtiges Erkennen und einhalten der Fahrspur auf befestigten und unbefestigten Strassen auch in Gebieten ohne bzw. mit eingeschränkter GPS Unterstützung
- Einhalten vorgegebener Sicherheitsabstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen bzw. in Stop-and-go Situationen
- Umfahren stehender Fahrzeuge und sicheres ein- und ausparken
- Spurwechsel beim Überholen ohne Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer und richtiges Verhalten vor Kreuzungen
- beachten von Vorfahrtregeln an Kreuzungen ohne unnötige Verweilen >10s.

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 26



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



Urban Challenge 2007

nicht geforderte Fähigkeiten

- Erkennen von Verkehrszeichen und Lichtsignalen durch die Sensorik des Fahrzeugs.
- Erkennen und ausweichen von Fußgängern.
- Geschwindigkeiten >30mph.
- Unbefestigte Wege, die ein geländegängiges Fahrzeug erfordern.

07.03.2011

„Caroline v5 – AAET 2007.ppt

Folie 27

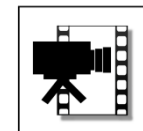
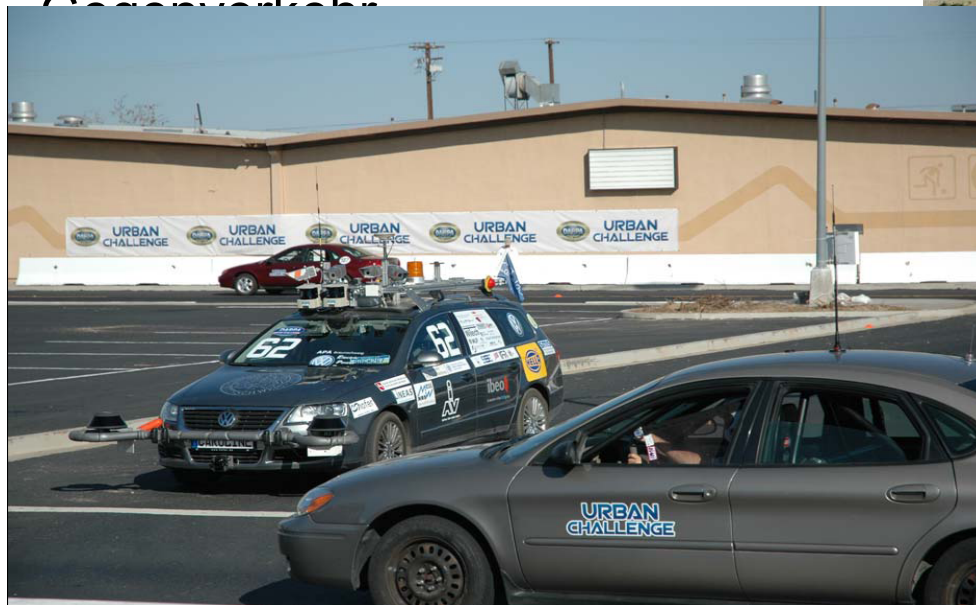
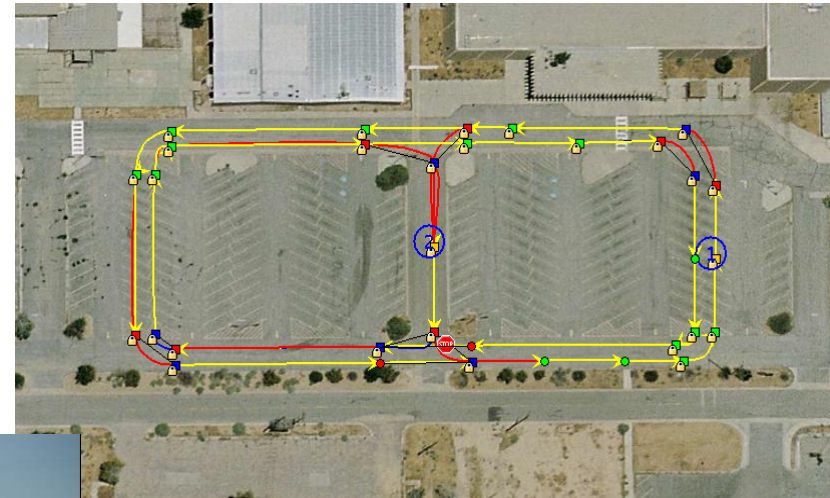


CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



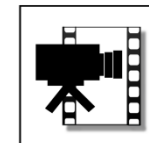
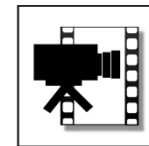
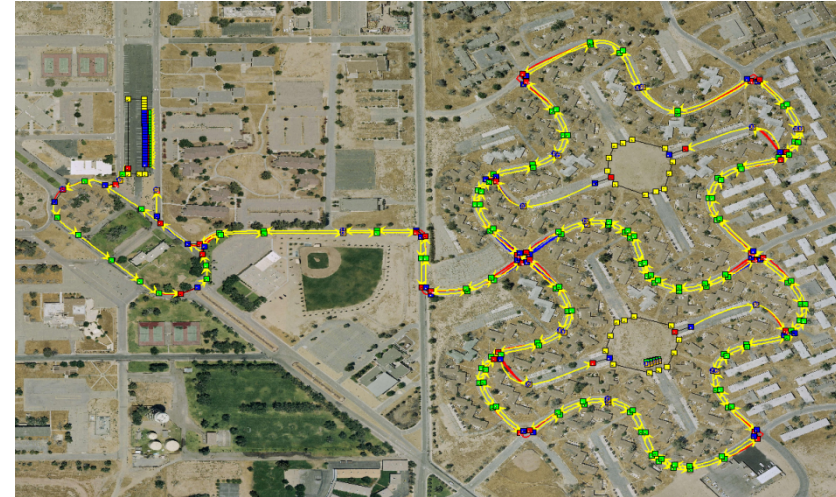
Qualifikation – Test Area A

- links abbiegen mit fließendem Verkehr
- Vorfahrt beachten
- Folgefahrt
- Gegenverkehr



Qualifikation – Test Area B

- Free Navigation Zones
- Parken
- statische Hindernisse

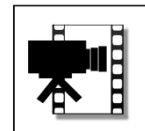
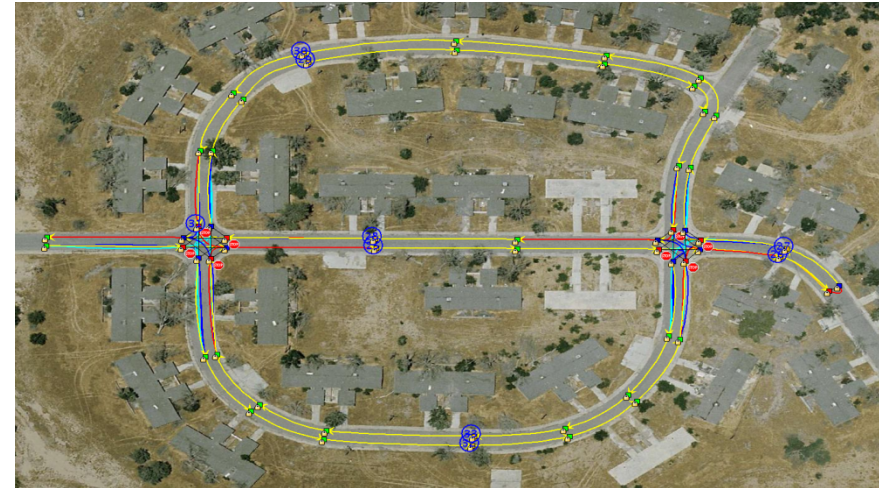


CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



Qualifikation – Test Area C

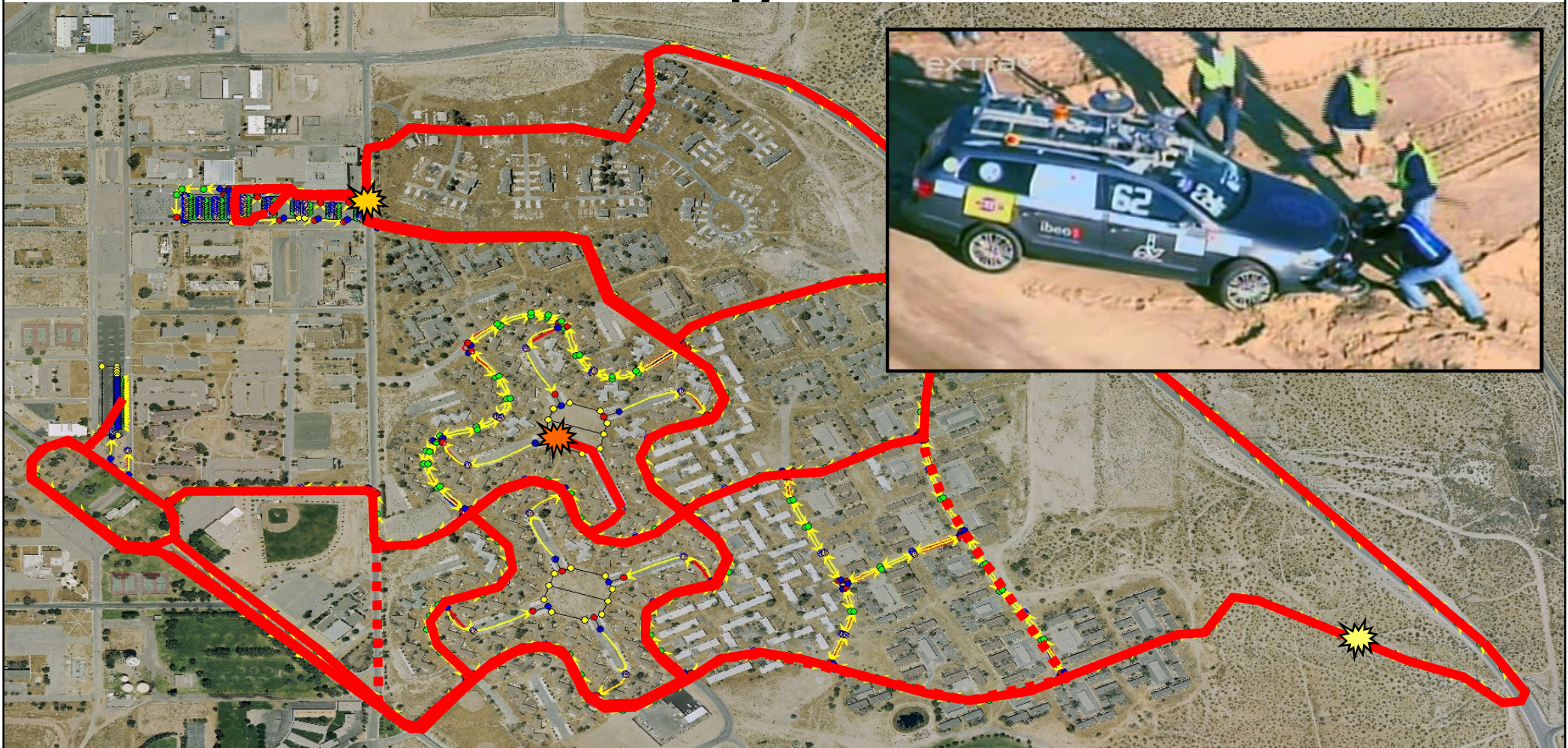
- verschiedene Kreuzungssituationen
- Straßensperren
- U-Turns
- dynamische Neuplanung



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig



Fahrtweg im Finale



Folie



CarOLO-Projekt
DARPA Urban Challenge 2007
TU Braunschweig

